智慧农业科技创新引领农业新质生产力发展路径

曹冰雪[1]，李鸿飞[2]，赵春江[1*]，李 瑾[1*]

（1. 北京市农林科学院信息技术研究中心，北京 100097，中国；2. 北京市农林科学院，北京 100097，中国）

摘 要：［**目的/意义**］智慧农业科技是农业领域又一次新技术革命，具备农业新质生产力“高科技、高效能、高质量、可持续”的内在特征，已成为推进农业新质生产力发展的重要内核与引擎。［**进展**］本文对智慧农业科技创新的现实基础、内在逻辑与问题挑战开展系统研究，结论表明中国“表型+基因型+环境型”智能育种已迈入快车道，农业天、空、地信息感知技术体系逐渐成熟，农业大数据与智能决策技术研究探索不断推进，面向不同领域的智能农机装备创制取得丰硕成果。智慧农业科技创新通过赋能农业要素、技术、场景、主体与价值，推动农业新质生产力发展。但也面临科技创新政策体系不健全、关键技术存在卡点堵点断点、科创成果转化落地难度较大、支撑体系不够完备等重大挑战。［**结论/展望**］聚焦问题导向，提出了中国智慧农业科技创新平台、技术、场景、人才的“四高”路径，并围绕顶层设计、政策供给、先行实践、生态体系等层面，提出智慧农业科技创新引领农业新质生产力发展的对策建议。

关键词：智慧农业；科技创新；农业新质生产力；数据要素；智能育种

中图分类号：S24；S-1 **文献标志码：**A **文章编号：**SA202405004

引用格式：曹冰雪, 李鸿飞, 赵春江, 李瑾. 智慧农业科技创新引领农业新质生产力发展路径[J]. 智慧农业(中英文), 2024, 6(4): 116-127. DOI：10.12133/j.smartag.SA202405004

CAO Bingxue, LI Hongfei, ZHAO Chunjiang, LI Jin. The Path of Smart Agricultural Technology Innovation Leading Development of Agricultural New Quality Productivity[J]. Smart Agriculture, 2024, 6(4): 116-127. DOI：10.12133/j.smartag.SA202405004 (in Chinese with English abstract)

0 引 言

随着全球新一代信息技术与农业的深度融合，世界农业正在经历第三次革命——农业数字革命，美国、欧盟、日本等发达国家和地区纷纷对智慧农业进行战略布局。中国农业也正向以数据、信息为生产要素，以互联网、物联网、大数据、云计算、区块链、人工智能（Artificial Intelligence, AI）和智能装备应用为特征的智慧农业迈进。

在当下全球新一轮科技革命重大挑战，以及中国经济和社会高质量发展战略要求形成的历史性交汇背景下，习近平总书记在2023年黑龙江考察期间提出“加快形成新质生产力，增强发展新动能”[1]。学术界普遍认同新质生产力是科技创新在其中发挥主导作用的生产力，是摆脱了传统增长路径、符合高质量发展要求的生产力。对于新质生产力的“新”，主要体现为新技术、新经济和新业态[2]，或新科技、新能源和新产业[3]；对于新质生产力的“质”，则强调在坚持创新驱动本质的基础上，通过关键性颠覆性技术突破，为生产力发展提供更强劲的创新驱动力[2]。在农业领域，构筑农业新质生产力同样具有重要意义。

农业生产力是通过农业劳动，改造、征服、利用自然获得物质资料的能力。农业生产力系统主要涵盖农业劳动者、劳动资料、劳动对象等“实体性因素”，农业基础科学、前沿技术等“渗透性因

收稿日期：2024-05-09

基金项目：国家自然科学基金专项项目（L2224049）；北京市乡村振兴专家咨询委员会2024年委托课题（202404-I）；北京市农林科学院创新能力：乡村振兴研究中心（KJCX20240404）；北京市农林科学院创新能力建设专项（KJCX20240309）；北京市农林科学院青年基金项目（QNJJ202322）

作者简介：1. 曹冰雪，研究方向为农业农村信息化理论与微观应用研究。E-mail：caobx@nercita.org.cn；2. 李鸿飞，研究方向为农业农村信息化政策研究。E-mail：lihf@nercita.org.cn。曹冰雪和李鸿飞对本文有同等贡献，并列第一作者

*通信作者：1. 赵春江，博士，研究员，研究方向为智慧农业。E-mail：zhaocj@nercita.org.cn； 2. 李 瑾，博士，研究员，研究方向为农业农村信息化政策研究。E-mail：lij@nercita.org.cn

素”，农业管理服务、分工协作、预测决策等“运筹性因素”，以及农业信息、农业教育等“媒介性因素”。农业新质生产力是以数字科技、生物科技、现代工程科技等高水平科技创新为引领，通过科技与改革的双轮驱动，摆脱传统粗放型外延式发展路径依赖，实现实体性、渗透性、运筹性、媒介性因素的改造升级与深度融合，具备智能化、绿色化、融合化、组织化等突出特征的先进农业生产力质态（见图1）。农业新质生产力将赋能农业全要素生产率大幅提升、全产业链深度转型升级，是实现高水平农业科技自立自强的重要体现，是推动中国农业高质量发展、建设农业强国与乡村全面振兴的内在要求和重要着力点[4]。



图1　农业新质生产力系统

Fig. 1 System of agricultural new quality productivity

作为农业领域又一次新技术革命的智慧农业科技，已在农业实践中展现出强大的引领带动作用，相较于传统农业技术，智慧农业科技通过将数据和知识作为重要核心要素，集成农业生物技术、农业信息技术与智能化农机装备，变革农业生产方式，赋能农业生产更加高质量、高效率、高效能与人性化[5]。智慧农业科技创新实践充分体现出农业新质生产力“高科技、高效能、高质量、可持续”的内在特征，已然成为推进农业新质生产力发展的重要内核与引擎，因此，推动智慧农业科技创新在引领农业新质生产力发展中具有重要的战略与现实意义。本文通过分析智慧农业科技创新推动农业新质生产力发展的现实基础、内在逻辑与问题挑战，提出前瞻性战略路径与对策建议，以期为加快中国农业新质生产力发展提供新思路、新抓手和新路径。

1　智慧农业科技创新引领农业新质生产力发展的现实基础与内在逻辑

在全球智慧农业科技创新趋势导向与战略引领下，智慧农业科技创新持续加速，已成为引领农业新质生产力发展的重要源动力。

1.1　智慧农业科技创新的现实基础

当前，智慧农业科技创新能力不断增强，在智能育种、农业信息感知、农业大数据与AI、智能农机装备等领域取得重大科技创新突破，为引领农业新质生产力发展提供现实基础支撑。

1.1.1　“表型+基因型+环境型”智能育种迈入快车道

智能育种技术是以动植物表型、基因型、环境型等组学大数据为核心，通过信息技术与生物技术的有机融合，实现基因快速挖掘与表型精准预测，进而基于全基因组的机器学习预测模型，创制出智能组合优良等位基因育种设计方案，实现智能、高效、定向的新品种选育[6]。科研机构、种业企业在智能育种领域持续加大科研创新力度，取得了一系列技术创新与突破。一是作物表型信息高通量获取技术在育种领域得到应用。德国LemnaTec公司、荷兰Pheno Spex公司等围绕台式作物表型分析、实验室作物表型分析、温室3D作物表型分析、野外作物表型监测等已开发了系列表型监测平台，为作物育种提供表型组学数据。中国国家农业信息化工

程技术研究中心等科研团队自主研发了作物高通量表型平台和配套的表型参数解析软件，并将其应用于玉米、小麦育种的表型性状解析[7]。二是基于多组学大数据的智能设计育种取得显著进展。美国等种业强国已基本进入智能设计育种时代，拜耳（Bayer）、科迪华（Corteva）等国际种业巨头已建立起成熟的智能设计育种体系，多组学大数据分析、AI等技术被广泛应用于种子选择与优化。华中农业大学、中国农业科学院深圳农业基因组研究所等处于国内领先地位，面向玉米、畜禽等建立了多组学知识库，并基于多组学数据分析，初步实现了动植物性状重要基因和遗传变异的快速检索与智能分析[8-10]。隆平高科、首农食品集团等种业龙头企业积极与科研院所合作，在群体材料高效筛选、品种适应性评价等智能育种决策工具研发方面初见成效，调研数据显示，智能育种决策工具的应用能够提升新品种选育效率20%以上。三是育种大数据平台进入商业化应用阶段。以美国Benson Hill等为代表的种业企业已熟化推广了一批如CropOS等商业化育种大数据平台。中国国家农业信息化工程技术研究中心将信息技术与商业化育种技术紧密结合，并集成地理信息系统（Geographic Information System, GIS）、AI等相关技术，研发了中国首个具有完全自主知识产权的商业化育种大数据平台“金种子育种云平台”，调研数据显示，平台能使杂交计划制定效率提升80%，田间性状数据采集与分析效率提升100%。华智生物公司研发了华智智能育种专家系统，涵盖了种质库存、繁育活动、品种测试、分子育种等8个核心模块共463项具体功能，能够对育种全过程进行预测、控制和管理，显著提高育种效率[11]。

1.1.2 农业天、空、地信息感知技术体系逐渐成熟，应用日趋广泛

农业天、空、地信息感知技术是通过利用卫星遥感、无人机遥感、智能感知终端及物联组网等相关技术，采集获取各类农业信息和数据，再经由信号传递模块和后台解析技术，将抽象的农业信息转换为数字信号，是智慧农业科技的核心。农业天、空、地信息感知技术研发创新成效显著、技术应用日趋广泛。一是基于卫星遥感的农业产量估测、灾害预警等研究不断深入。美国农业部（United States Department of Agriculture, USDA）、国家海洋大气管理局（National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA）、宇航局（National Aeronautics and Space Administration, NASA）和商业部（United States Department of Commerce, USDOC）早在20世纪70～80年代已实施了“大面积农作物估产实验（Large Area Crop Inventory Experiment, LACIE）”“农业和资源的空间遥感调查计划（Agriculture and Resources Inventory Surveys Through Aerospace Remote Sensing, AGRISTARS）”。2007年，20国集团发起了旨在用地球观测数据开展农情监测预警、农业气象预测、农业土地利用变化观测的GeoGLAM（Group on Earth Observations Global Agricultural Monitoring）计划。中国科学院CropWatch团队是该计划的共同发起者，其建立的全球农情遥感速报系统（CropWatch），能够在4种空间尺度、4种时间分辨率、5种空间分辨率下，对农业气象、作物长势、作物产量等14个指标进行遥感观测，实现“地块—村—镇—县—市—省—国家—全球”多层级监测预警[12]。近年，基于高光谱的农业遥感技术成为国内外的研究热点，已开展了包括高光谱遥感系统搭建、病虫害等特征图谱提取和算法改进等研究[13, 14]。二是基于无人机技术的农业中小尺度遥感监测研究处于起步阶段。国内外已有研究主要利用无人机高光谱遥感影像，建立面向无人机遥感的作物生物量、病虫害等测度模型，实现对作物长势与养分诊断、分析，生物与非生物胁迫定量监测等[15-18]。三是农业传感器技术产品研发“多点开花”。经咨询专家，目前美国AllSensors公司、日本久保田株式会社（Kubota）、德国博世公司（Bosch）、以色列阿菲金公司（Afimilk）等已实现了环境信息、动植物生命信息、农产品质量安全信息、农机工况作业信息等相关传感器的迭代升级。国内光、温、水、气等一般性环境类传感器已实现国产化替代，土壤养分等传感器研发也在加快。例如，国家农业信息化工程技术研究中心打破国外技术垄断，研发了新一代土壤成分快速检测系统“知土”，能够在10分钟内完成土壤主要养分、重金属及其他多种微量元素的快速测量，具有完全自主知识产权，并已在山东、广东、湖北、陕西等地广泛应用[19]。

1.1.3 农业大数据与智能决策技术研究探索不断推进

大数据与AI技术能够助力农业科学决策、指导农业生产经营。其中，农业大数据技术是基于海量农业数据，结合数据可视化、分析挖掘、模拟预测等前沿技术，开展数据的深度分析[20]，农业AI

技术则是基于机器学习、深度学习、计算机视觉、知识图谱等技术，实现知识表示、自然推理、自动程序设计等，从而产生有价值的农业知识与规律，为农业生产提供决策支撑。当前，基于大数据与AI技术的农业决策支持研究探索不断推进。一是开展了农业大数据挖掘系统构建与应用研究。美国主导了Hadoop、Spark、Flink等大数据处理框架的开发，并在农业领域得到广泛应用，建立了农业气象、作物生长、病虫害等大数据预测模型。国内学者也积极开展了基于Hadoop、Spark框架的农业大数据挖掘系统架构与模块设计、农业大数据分析预测模型构建等研究[21-23]。二是农业AI模型与算法创新不断推进。美国、荷兰、以色列、日本等国家在农业AI模型与模拟、农业认知计算与知识发现、农业可视交互服务引擎等智能模型算法方向处于国际领先地位。国内学者也积极推动农业智能算法模型的研发创新，在农业计算机视觉、机器学习、群体智能算法等领域取得一定进展[24-27]。三是农业决策支持系统开发与应用成效显著。随着大数据、AI等技术的发展，利用农业决策支持系统辅助决策已较为普遍。其中，美国佛罗里达大学（University of Florida）农学研究所开发的农业技术转移决策支持系统（Decision Support System for Agrotechnology Transfer, DSSAT）是目前使用最为广泛的决策支持系统，通过气象、作物、土壤等多模型耦合，科学模拟和评估农作物生长、产量等，为农业生产者、研究人员和政策制定者提供农业管理决策方案。中国面向小麦、水稻、园艺作物等病虫害诊断、栽培管理，也研究形成了一系列农业决策支持系统[28]。例如，北京爱科农公司基于大数据与自研作物模型，构建了智慧种植决策系统，可向农户提供地块基础地力、田间环境、作物长势、水肥管理、灾害预警、产量预测等农事决策服务，服务已覆盖全国10个省（区），帮助农户节肥节药20%[29]。

1.1.4 面向不同领域的智能农机装备创制成果丰硕

智能农机装备是指通过设计和智能技术创新，具有人类（部分）智能硬件设备或软硬件集成系统，可全部或部分替代人或辅助人高效、便捷、安全、可靠地完成特定复杂的农机作业目标任务，实现农业生产全过程的数字化感知、智能化决策、精准化作业和智慧化管理，具有人与机、机与物之间交互性特点[30]。目前，面向大田种植、设施园艺、畜禽养殖、水产养殖等领域的智能农机装备研发应用不断加速。一是大田智能农机装备得到广泛应用。约翰迪尔（John Deere）、纽荷兰（New Holland）、爱科集团（Agco Corporation）等农机制造巨头，在智能农机装备关键核心技术研发领域处于世界领先地位，已向全球市场推广智能拖拉机、自走式打包采棉机等产品。基于北斗导航的国产智能农机装备也快速发展。例如，国家农业信息化工程技术研究中心在北斗自动导航系统基础上，通过加装双目立体相机，构建农田地头边界线检测系统，解决了农机自动驾驶系统对于农田地头环境感知与识别的瓶颈，其创制的农机自动驾驶系统得到落地转化与广泛应用[31]。据农业农村部数据，2021年，中国大田种植信息化率已超过21.8%，其中，小麦、稻谷和玉米三大粮食作物分别达39.6%、37.7%和26.9%[32]。二是温室智能控制、智能灌溉、机器人等设施园艺智能技术装备持续迭代升级。荷兰玻璃温室智能控制技术，以色列高效微滴灌技术，日本设施生产机器人、智能微耕设备等技术装备研发应用处于世界领先地位。国内自主研发与市场化应用进程加快，其中，连栋温室环境智能管控系统已实现国产化。天津水利科学研究所等研制的设施滴灌施肥智能化控制设备已达到世界先进水平[33]。中国农业大学等研发团队在草莓、蔬菜采摘机器人等前沿领域持续发力[34]。三是畜禽养殖环境自动控制、精准饲喂等设备创新与应用进入“深水区”。以瑞典斯维垦（Sveaverken）、以色列阿菲金（Afimilk）等为代表的龙头企业，面向奶牛、肉牛、猪、家禽饲养，能够提供集养殖场环控系统、智能项圈、推料机器人、清粪机器人等设备于一体的集成式智能化解决方案[35,36]。国内畜禽智慧养殖设备研发应用处于快速发展期，调研数据显示，国内新建规模化养殖场应用环境控制设备的比例达到90%，其中，国产化率超过50%。小龙潜行、普立兹、睿畜科技等企业与科研院所合作，在畜禽智能饲喂、穿戴、称重、消毒防疫等设备研制取得突破[37]。四是水产养殖环境调控系统、智能投喂系统、水下机器人等研究不断推进。美国、日本、挪威等国家在水产养殖环控系统、投喂设备、水下机器人等设备研发，以及智能网箱、智能养殖工船等集成化设施设备研制处于领先地位[38]。国内水产智能养殖设备研发起步相对较晚，近年，中国水产科学院、浙江大学等科研机构在智能增氧、水产智能投饲等系统设备研发中持续发力，取得显著

进展[39, 40]。

1.2 智慧农业科技创新引领农业新质生产力发展的内在逻辑

智慧农业科技创新通过赋能农业要素创新、技术创新、场景创新、主体创新与价值创新，推动农业新质生产力发展。

1.2.1 要素创新：数据要素为农业新质生产力发展提供基础资源

智慧农业科技创新能够促进农业数据要素这一新型生产要素的生成与集聚。不同于传统生产要素，数据要素具备可复制性强、迭代速度快、复用价值高等特点，能显著提高信息传递效率、大幅降低个体信息获取成本。在农业领域，通过将数据要素与资本、人力、土地、技术等其他生产要素有机结合，能够激发传统生产要素创新活力，提高要素效率效果，实现要素优化组合和配置；通过将数据要素融入农业生产、加工、流通、销售和服务管理等各环节，能够深刻变革农业生产管理方式，提高农业产业发展质量和效益，催生新产业、新业态、新模式，为农业新质生产力发展提供基础资源底座。

1.2.2 技术创新：智慧农业技术为农业新质生产力发展提供持续动力

技术创新是智慧农业科技创新的核心。“云大物移智链边”（云计算、大数据、物联网、移动互联网、AI、区块链、边缘计算）技术创新，以及与生物技术、新材料技术、农业工程技术的融合是智慧农业技术创新的主要内容。智慧农业技术创新一是能加快农业信息感知数字化，实现农业全要素、全过程信息精准感知、识别与表达；二是能助力农业管理决策科学化，实现农业气象灾害预警、病虫害实时监测、疫病精准防控；三是能推动农业装备控制智能化，实现农机、农艺与信息的深度融合；四是能提升农业要素投入精准化，实现要素定量投入、资源节约与高效利用；五是能促进农业信息服务个性化，实现服务高效便捷、双向互动、精准对接，从而为农业新质生产力发展提供持续动力。

1.2.3 场景创新：智慧农业场景为农业新质生产力发展提供实践范式

智慧农业科技创新的着力点与落脚点在于智慧农业场景创新。智慧农业科技创新成果的落地转化与集成应用，衍生出种业4.0、无人农场、智能温室、智慧牧（渔）场、农业智能服务等新型农业场景。其中，种业4.0通过构建“常规育种+生物技术+数字技术+AI”的育种模式，搭建多主体协同的科研育种平台、种业大数据平台，实现种业育繁推效能提升；无人农场、智能温室与智慧牧（渔）场通过数字技术、智能农机装备、现代化农业设施的集成应用，实现大田种植、设施园艺、畜禽水产养殖关键环节的“机器换人”与智能管控；农业智能服务依托大数据、农业算法模型、决策支持系统等，为涉农管理者提供科学、高效的辅助决策工具，为农民提供精准的农业知识服务。新型农业场景的形成将为农业新质生产力发展提供典型实践范式。

1.2.4 主体创新：智慧农业人才为农业新质生产力发展提供智力支撑

在智慧农业科技创新赋能下，政府管理人员、农业科研人员、农业生产经营主体、农业服务主体等产业链不同主体的参与方式、创新能力与运行能效发生新的转变。其中，政府管理人员通过应用相关政务平台、产业大数据平台，能够提升农业监管服务能力与水平；农业科研人员将智慧农业技术与装备应用于科研试验，能够提升科研人员创新能力与效率；新型农业经营主体、农民等通过智慧化转型，能够提升农业生产能力与农产品电商等数字经济参与能力；农技推广人员、农业社会化服务主体、金融机构等农业服务主体通过应用涉农服务平台、专家系统，能够提升农业科技、农机、金融等涉农服务能力。智慧农业管理型、科研型、技能型人才的培育，将加速农业新技术应用、新模式形成，为农业新质生产力发展提供智力支撑。

1.2.5 价值创新：智慧农业价值创造为农业新质生产力发展提供重要遵循

价值创造是农业新质生产力发展的目标与追求，而智慧农业科技创新能对农业产业链带来新的价值创造。通过智慧化转型升级，农业生产经营主体能够减少人工投入、优化资源配置、增强沟通协作、提升农产品质量，实现成本节约与收入增加，产生新的经济价值；政府、科研机构、服务组织等能够提高科研产出、提升管理服务效率、促进产业协同发展，提升产业经济价值与社会价值。同时，以农产品电商为代表的农业数字经济发展，将不断产生新的多边经济效应，平台价值得到倍增。农业数据资源积累和数据要素市场培育，将推动数据要素向资产化、资本化转变，数据要素价值将逐步得到释放，形成新的价值。经济价值、社会价值、平

台价值、数据价值的创造，将为智慧农业科技创新引领农业新质生产力发展提供重要依据与遵循。

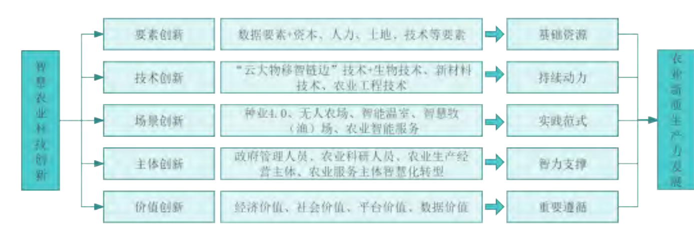


图2 智慧农业科技创新引领农业新质生产力发展的逻辑图

Fig. 2 Logical diagram of smart agricultural technology innovation leading the development of agricultural new quality productivity

2 中国智慧农业科技创新引领农业新质生产力发展面临的重大问题与挑战

对标中国农业新质生产力发展要求和国际智慧农业科技先进水平，中国智慧农业科技创新总体处于多点突破、系统集成和商业化应用起步阶段，在政策体系、关键技术、成果转化、支撑体系等层面还面临一定问题与不足。

2.1 科技创新政策体系不够健全

一是政策创设有待加强。目前，从国家到地方针对智慧农业科技创新的政策体系建设仍处于初步探索阶段，一般作为数字农业科技的高级形态进行简单宏观展望，相关制度框架和配套服务体系尚不健全，而关于智慧农业科技创新引领农业新质生产力发展的政策导向还处于探索当中，长效发展机制有待逐步形成。二是政府财政支持能力有限。智慧农业科技创新周期长、投入大，成果落地转化成本高、见效慢。而财政“输血式”支持能力有限，数据显示，中国农业科技投入在科技总投入的占比由2001年的6.8%下降至2022年的1.37%[41]，2022年中国农副食品加工业与食品制造业科技投入分别仅占整体制造业科技投入的1.86%与0.9%[42]，全国县域农业农村信息化建设的财政投入仅占全国农林水事务财政支出的1.4%[43]，对智慧农业科技创新与转化支持有限。三是科技创新体制机制不健全。中国智慧农业科技创新缺乏有效的协同机制和激励机制，如政府、科研机构、农业企业、农户之间的信息沟通和资源共享不畅，智慧农业科技创新的投入产出比不高，绝大多数一线科技人员认为农业领域的科技体制机制改革举措落实到位程度不足80%[44]。

2.2 关键技术面临卡点、堵点、断点

一是基础研究支撑不足。国内关于智慧农业基础研究起步较晚，与美国、德国、日本等国家相比，国内动植物知识模型与智能决策精确度低，底层核心算法缺少，过度依赖国外开源算法与软件，未形成有影响力的农业AI开源软件库，部分已构建的模型、算法难以实现动植物生命数据、环境数据的高效处理和精准挖掘，整体处于跟跑阶段。二是部分核心元器件受制于人。在以农业物联网为代表的信息感知技术研究方面存在明显短板，农业专用传感器难以有效满足生产需求。其中，农业动植物本体传感器基本处于空白，高端农业环境和动植物生命信息感知设备被美国、日本、德国等垄断，对外依存度达80%以上。农业机器人核心部件、高端智能化精准作业装备主要依赖欧美等发达国家，在负载动力换挡、无级变速、视觉系统、柔性执行器件等领域研发薄弱[5]。三是基于多学科的全产业链技术集成不够。由于农业的生物特性，智慧农业科技创新具有显著的多学科交叉特点，但国内现有研究成果对农学、计算机科学与技术、农业工程等多学科知识融合不足，技术的点上突破较多，围绕全产业链进行技术集成的研究难度高、创新成果少，面向小农户、小地块的技术装备研发缺乏。

2.3 科创成果转化落地难度较大

一是高校、科研院所成果转化意愿与能力不强。由于高校、科研院所普遍存在智慧农业科研工作以项目导向为主，缺乏与市场有效沟通的问题，大量科研成果处于“高枝青果”状态。同时，由于中国科技成果中试工程化起步较晚，针对智慧农业技术产品的中试、熟化经费和专业性平台支持不足，缺乏必要的装备条件与技术服务，难以支持科研成果落地转化。二是可持续的商业化运作机制尚未成熟。已有的智慧农业科技成果普遍面临“成本刚性、单价难提、复用有限”的困境，相关智慧农业科技应用项目很难有效实现成本平抑，导致大多数智慧农业科技成果仍处于小范围试点示范阶段，市场化产业化进程缓慢，政府、科研单位和社会资本合作、多元化投资环境尚未完全形成，成熟良性的盈利机制与商业化运行模式亟待挖掘。三是技术产品推广服务不健全。国内高水平的科技成果转化服务平台和社会化中介服务机构较为缺乏，难以对高校、科研院所智慧农业科技成果转化提供“桥梁”作用。面向新型农业经营主体、小农户的智慧

农业技术产品推广、运维体系不健全，利益联结分享机制不完善，导致智慧农业技术集成应用场景创设不足，难以真正提升农业生产力。

2.4 科技创新支撑体系不够完备

一是科创平台能级小、影响力不足。智慧农业科技创新平台以省部级为主，“国字号”、区域性的智慧农业重大科创平台数量较为缺乏，对中国树立智慧农业高水平科学研究、重大原创成果产出、关键核心技术问题突破的能力形成制约，不利于辐射带动全国智慧农业重大创新，难以在国际国内层面具备引擎性与标杆性。二是数据与创新链存在严重脱节。高质量的数据资源是智慧农业科技创新的基础，但国内政府数据开放规模仅为美国的1/9，“阿里系”“腾讯系”等数据阵营壁垒森严[45]，人才集聚的科研单位缺乏一手数据，拥有数据资源的政府、头部互联网企业缺乏人才，数据资源供需不匹配问题明显。三是科技创新未实现“标准先行”。标准化是科技创新体系的重要支撑，但国内农业领域标准化发展滞后，有研究表明，截至2022年仅北京、上海等4个省（市）农业地方标准更新率超过10%[46]。而智慧农业领域的标准制定不足问题更为明显，影响科技成果的有效转化。四是高层次人才短板突出。中国智慧农业人才培养体系尚不健全，交叉学科型人才培养基地和学术平台建设滞后，既懂农业又懂AI的高层次复合型人才培育不足，国外高端智慧农业人才存在“引不来、留不住”等问题，人才缺口接近1 100万[43]。五是科技金融水平不高。推动智慧农业科技创新离不开科技金融支持。但因缺少专业性的知识产权评估机构与标准，智慧农业科技创新知识产权价值难以界定，制约相关金融产品的供给。智慧农业技术产业化投融资体系与技术产权市场整体发育不健全。

3 智慧农业科技创新引领农业新质生产力发展的路径

聚焦智慧农业科技创新的问题，提出科技创新平台、技术、场景、人才的“四高”路径，以补齐智慧农业科技创新短板，加快形成农业新质生产力。

3.1 建设高能级智慧农业科创平台

高能级智慧农业科创平台是围绕国家智慧农业重大战略目标，开展智慧农业基础研究、关键核心技术攻关、科技成果转化及产业化等科技创新活动的重要载体，是智慧农业原始创新的“策源地”与关键核心技术的“发源地”。通过高能级智慧农业科创平台建设，能够推动农业人才、资本、技术、数据等现代要素集聚，为农业新质生产力发展提供创新平台支撑。据此，应以平台建设为抓手，不断完善科技创新体系，提升平台科技支撑能力。一是要加快布局智慧农业高能级创新平台。紧抓实现中国高水平科技自立自强、发展新质生产力的战略机遇，结合农业地域特点与智慧农业科创基础、产业布局，在国家层面统筹谋划智慧农业高能级创新平台建设项目，支持高校、科研院所、创新型龙头企业、高端人才团队，以独立建设或合作共建的方式推进平台建设。二是要建立健全平台科创体系。以创新平台为“主引擎”，支持建设升级一批重点实验室、工程技术中心，孵化一批管理制度现代化、运行模式市场化的新型研发机构。通过“创新平台先研、企业跟进、联合推动落地”的科创模式，开展智慧农业基础理论研究、重大关键技术攻关与高端智能产品研制，实现智慧农业科技“从0到1、从1到N”的孵化裂变。三是要着力提升平台学术影响力与产业带动力。依托创新平台，以国际合作项目、国家重点研发专项等为纽带，吸引全球智慧农业领域的院士专家参与项目实施，强化国内国际智慧农业人才交流与科技创新合作，打造在国内国际具有重要影响力的智慧农业科技创新高地、人才聚集高地和高新技术产业化引领高地。

3.2 突破高精尖智慧农业技术产品

农业新质生产力发展需要向科技要增量、挖潜能、拓边界。高精尖智慧农业技术产品的突破，对于转变农业生产方式、提高农业综合生产能力具有重要意义，能够为农业新质生产力发展提供关键科技支撑。因此，一是要加强智慧农业基础研究攻关。推动跨学科的算法技术融合创新，打破智慧农业核心算法技术梗阻，着力突破人机交互、生物特征识别、类脑计算等难题，迭代升级农业大数据算力。将农业AI大模型研发作为国家科技重大专项和重点研发计划的支持内容，在生物育种、农技与农产品市场信息服务等基础条件好、需求大的领域，率先开展AI大模型与基础软件库自主研发。二是要加快攻克“卡脖子”技术难题。重点推动农业高端专用传感器研发，研制一批具有自主知识产权的土壤养分传感器、作物养分与病害传感器、动物体征传感器、农产品品质传感器以及农机工况作

业传感器等。着力解决智能设计育种技术、农业高通量表型获取技术、动植物生长发育调控模型、环境模拟模型等技术难点。三是要推进智能农机装备研制。针对农业产业链中劳动密集环节，自主研发一批适用性强的作物精准播种、精准施肥/药、精准收获、养殖环境精准监测、精准饲喂等智能农机装备，开发适宜设施环境的耕整地、育苗、移栽、植保、运输专用型智能机械，开展农业机器人柔性执行器件、自主智能移动平台，以及采摘机器人、消毒巡检机器人、水下作业机器人等整机的探索研究。

3.3 打造高水平智慧农业应用场景

智慧农业应用场景是试验空间、市场需求、弹性政策的复合载体，通过高水平应用场景打造，能够推动智慧农业科技落地转化与产业化，促进农业新技术新产品新模式交互融合，为农业新质生产力发展提供实践载体支持。面向农业重点领域，一是应加快种业“4.0”建设。加强智慧农业科技在种质资源挖掘利用、基因挖掘与遗传改良、设计育种中的应用，构建主要农作物、畜禽水产的种质资源表型与基因型鉴定平台，支持申建智慧种业产业园，示范推广种业物联网、智能播种、种子智能清选加工等设施设备。搭建涵盖植物检疫、新品种审定保护、种子检测认证等于一体的区域性种业大数据平台。二是应推动少人/无人农场建设。综合利用卫星遥感、航空遥感、地面物联网等手段，建设大田“四情”（墒情、苗情、虫情、灾情）监测网络和智能植保防御体系，加快推动基于北斗导航的智能农机装备、农机指挥调度平台、农场智慧管理平台等在大田耕种管收全过程的应用，实现少人化、无人化。三是应推进智能温室试点示范。推动基于国产化智慧管控系统的智能温室建设，集成应用育苗智能化控制系统、小型设施专用智能农机装备、水肥一体化设备、精准施药系统、病虫害监测预警系统、设施智慧管理软件平台等系统设备，开展采摘、巡检机器人应用示范。四是应着力推进智慧牧场建设。以生猪、奶牛、肉牛肉羊、家禽等为重点，支持开展智慧牧场建设，推动构建畜禽养殖大数据平台，加大牧场生产环境精准调控、精准饲喂、疫病疫情监测预警、粪污无害化处理、智能消杀与巡检等智能装备应用，提升牧场智慧化养殖管理水平和综合效益。五是应开展智慧渔场建设。以池塘养殖、陆基工厂养殖、网箱养殖、海洋渔业四种养殖方式为重点，推动养殖水质实时监测、精准投喂、成鱼/死鱼捕捞、网衣清洗与提升、水下作业机器人等智能装备的应用示范，探索开展渔场智慧化养殖管理。

3.4 培育高层次智慧农业创新人才

高层次创新人才是智慧农业新知识、新技术的创造者与发明者。高层次创新人才培育对于提高农业科技创新能力和竞争力具有重要意义，为农业新质生产力发展提供坚实智力支撑。为此，一是要引进一批智慧农业高层次领军型人才。坚持农业“高精尖缺”的人才定位，在国家层面明确并发布智慧农业科技创新的人才缺口与引才领域，通过打好专班引才、揭榜引才、以才引才、以赛引才等组合拳，引进一批智慧农业高层次人才。二是要加强多学科复合型人才培养。聚焦智慧农业科技创新的新领域、新赛道，在国内高等院校加紧部署“新农科、新工科”建设，主动布局一批智慧农业新院所、新专业，加强学科专业与信息技术、生物技术、工程技术和管理科学等的有机融合，将跨学科优势转化为复合型人才培养优势。三是要组建智慧农业PI（Principal Investigator）团队。统筹实施智慧农业“大PI”建设计划，形成一批由院士专家引领的高水平创新团队，给予持续稳定的项目支持，并鼓励采用产业化运作、产学研合作的方式，开展科研攻关、项目合作与成果转化。四是要构建良好的智慧农业高端人才引育环境。通过建设国际化人才交流合作基地，举办国际性人才交流活动，发展智慧农业人力资源服务产业集群等，实现更大范围、更高层次的智慧农业创新人才交流合作，不断完善高端人才引育环境。

4 智慧农业科技创新引领农业新质生产力发展的战略建议

在智慧农业科技创新进入从“跟跑”向“并跑”“领跑”发展的关键时期，为有效摆脱科技创新的路径依赖，将先进技术转化为先进生产力，必须加深理论认识，围绕顶层设计、政策供给、先行实践、生态体系等层面，建立健全实施机制和政策框架。

4.1 深化智慧农业科技创新与农业新质生产力认识

一是加深科学认识。推动智慧农业科技创新、

发展农业新质生产力是一项长期任务和系统工程，需要系统谋划、统筹考虑。建议在国家层面通过项目支持、政策征集等方式，组织各领域专家就智慧农业科技创新、农业新质生产力等新思想、新理念开展充分调研与研讨，加深对智慧农业科技创新、农业新质生产力概念内涵、内生关系的科学认识。二是出台智慧农业科技创新引领农业新质生产力发展的战略规划。在形成统一认识的基础上，建议在国家层面加快编制国家智慧农业科技创新引领农业新质生产力发展的战略纲要、行动指南等，基于国内外技术差距与农业新质生产力发展要求，明确中国智慧农业科技创新的时间表、任务书与路线图，尽快形成农业新质生产力的强引擎。三是构筑智慧农业科技创新长效工作机制。探索建立由农业农村部、科技部等多部门联合，高校、科研机构、企业多主体联动的智慧农业专项工作领导小组，形成智慧农业科技创新和集成应用纵向贯通、横向联动的长效工作机制，通过定期召开全国会议，部署智慧农业科技创新与应用工作，切实推进智慧农业科技创新见行见效。

4.2 优化智慧农业科技创新政策供给

一是创建更具活力的智慧农业科研项目扶持政策。政府应加强智慧农业核心技术攻关的项目支撑，牵头制定重点科创领域的联合攻关支持目录。并按照项目研发费用或关键设备、系统软件投入的一定比例，给予科研机构项目经费后补助。同时，推动智慧农业基础研究类科研基金项目经费“包干制”试点，激活科研主体对智慧农业科技创新的积极性。二是完善智慧农业科创成果落地转化制度供给。要求国家级重大智慧农业科技创新项目立项目标应涵盖成果推广规模等指标。落实落细科研人员职务科技成果所有权或长期使用权试点，鼓励科研人员以技术转让、作价入股、成果拍卖等方式推动智慧农业科技成果转化。此外，基于“智机优补”原则，将更多国内自主研制的智能农机装备纳入农机购置与应用补贴范围，加速智慧农业科创成果赋能农业新质生产力。三是健全智慧农业科技创新标准规范。成立国家智慧农业标准化工作小组，开展中国智慧农业领域标准整体规划、体系建设、试点示范、应用实施等工作。协调科技部等部门，推动设立智慧农业标准研究科技专项，加强智慧农业数据标准、关键技术标准、场景建设运营保障标准等制定，形成智慧农业科技创新与应用标准谱系。四是健全智慧农业科技创新知识产权保护制度。以新技术、新装备知识产权保护为抓手，持续深化智慧农业科技创新知识产权保护意识，加强农业大数据、农业AI等新兴领域知识产权规则研究，探索开展农业数据知识产权保护立法，重点处理好数据保护与使用、安全与隐私的关系，实现各方利益平衡。

4.3 建设国家智慧农业创新发展试验区

为集聚智慧农业科技“强磁场”，激活农业新质生产力“主引擎”，建议在基础设施水平高、科技创新能力强、农业产业特色明显的地区，遴选一批典型县市有序推动国家智慧农业创新发展试验区建设，以智慧农业科技创新引领农业新质生产力发展为主线，着力打造中国智慧农业创新发展标杆。一是夯实农业新基建。持续推动5G网络在试验区农业基地的全面覆盖，支持推进农业大数据中心、算力中心，以及智慧农业科技研发基地、中试基地、开放创新平台等基础设施建设。二是着力加快智慧农业技术集成示范。通过政策与项目支持，鼓励试验区内科研机构与企业联合开展智慧农业科技综合集成应用示范和产业化试验，打造多视角全方位的智慧农业应用场景，加快推进智慧农业科技与农业实体经济的深度融合，构建“场景+链式”的智慧农业整体解决方案。三是开展智慧农业创新发展政策试验。在试验区率先构建支持智慧农业科技创新的新型制度框架与体制机制，开展标准规范、组织架构、项目运行管理、成果转化、知识产权、人才引育等重点领域新政策、新机制的先试先行，依托政策实践演化形成适合中国智慧农业创新发展的制度安排。四是推动智慧农业创新发展社会实验与模式总结。通过组织科研单位在试验区开展长周期、跨学科的智慧农业创新发展社会实验，客观记录、科学评估智慧农业创新发展对宏观经济、中观产业、微观主体的综合影响，总结凝练符合中国不同区域特征的智慧农业创新发展模式与运行机制，形成可复制、可推广的实践经验，为中国智慧农业创新发展提供支撑与借鉴。

4.4 着力完善智慧农业科创生态体系

一是健全智慧农业科技金融体系。在充分发挥政府引导作用的基础上，探索推动智慧农业科技金融体系建设，支持商业银行成立科技支行、发展知识产权质押融资、设立科技创投基金，并与风投机构、私募机构、社会资本开展“投贷联动”，合作

设立科技股权基金等，为智慧农业科技创新注入“金融活水”。二是完善智慧农业科技服务体系。加快智慧农业科技大市场、高校院所技术转移机构、科技中介服务企业等主体的建设培育，并在已有农业科技成果交易转化与知识产权综合服务平台建设基础上，搭建智慧农业这一细分领域的交易服务系统平台，通过市场化运作，提供技术评价、价值评估、成果拍卖、挂牌交易等“一站式”服务。三是构建智慧农业产业体系。基于产业集群发展理念，布局建设智慧农业“装备制造、产品研发、生产服务、生态环保”相融合的产业体系，大力发展智能农机产业、农业传感器产业、农用软件产业、农业信息服务产业、碳中和数字化产业等，培育一批具有全球竞争力、产业链供应链控制力的平台型企业和链主企业，形成良好智慧农业产业生态。

利益冲突声明：本研究不存在研究者以及与公开研究成果有关的利益冲突。

参考文献：

[1] 习近平主持召开新时代推动东北全面振兴座谈会强调牢牢把握东北的重要使命 奋力谱写东北全面振兴新篇章[N]. 人民日报, 2023-09-10.

[2] 周文, 许凌云. 论新质生产力:内涵特征与重要着力点[J]. 改革, 2023(10): 1-13.
ZHOU W, XU L Y. On new quality Pr oductivity: Connotative characteristics and important focus[J]. Reform, 2023 (10): 1-13.

[3] 洪银兴. 新质生产力及其培育和发展[J]. 经济学动态, 2024(1): 3-11.
HONG Y X. New quality productivity and its cultivation and development[J]. Economic perspectives, 2024(1): 3-11.

[4] 林万龙, 朱菲菲. 以新质生产力为引领,推动农业强国建设[EB/OL]. 光明网, [2024-02-17]. https://baijiahao.baidu.com/s?id=1791205096249674383&wfr=spider&for=pc.

[5] 赵春江. 智慧农业发展现状及战略目标研究[J]. 智慧农业, 2019(1): 1-7.
ZHAO C J. State-of-the-art and recommended developmental strategic objectivs of smart agriculture[J]. Smart agriculture, 2019(1): 1-7.

[6] 张颖, 廖生进, 王璟璐, 等. 信息技术与智能装备助力智能设计育种[J]. 吉林农业大学学报, 2021, 43(2): 119-129.
ZHANG Y, LIAO S J, WANG J L, et al. Information technology and intelligent equipment facilitating smart breeding[J]. Journal of Jilin agricultural university, 2021, 43(2): 119-129.

[7] 范贝贝, 李瑾, 冯献. 农业强国目标下作物育种科技与装备创新:态势、挑战与路径[J]. 科技导报, 2023, 41(16): 23-31.
FAN B B, LI J, FENG X. Seed industry technology and equipment under the goal of agricultural power: Situation, challenge and path[J]. Science & technology review, 2023, 41(16): 23-31.

[8] GUI S, YANG L, LI J, et al. ZEAMAP, a comprehensive database adapted to the maize multi-omics era[J]. iScience, 2020, 23(6): ID 101241.

[9] ZHU G, WANG S, HUANG Z, et al. Rewiring of the fruit metabolome in tomato breeding[J]. Cell, 2018, 172(1/2): 249-261.e12.

[10] FU Y H, LIU H, DOU J W, et al. IAnimal: A cross-species omics knowledgebase for animals[J]. Nucleic acids research, 2023, 51(D1): D1312-D1324.

[11] 华智 育种管理专家[EB/OL]. [2024-4-20]. https://www.wisebreeding.com/home.jsp.

[12] 吴炳方, 张淼, 曾红伟, 等. 全球农情遥感速报系统20年[J]. 遥感学报, 2019, 23(6): 1053-1063.
WU B F, ZHANG M, ZENG H W, et al. Twenty years of CropWatch: Progress and prospect[J]. Journal of remote sensing, 2019, 23(6): 1053-1063.

[13] 房世波, 韩威, 裴志方. 沙漠蝗群对印巴边境植被的影响及其未来可能发展趋势[J]. 遥感学报, 2020, 24(3): 326-332.
FANG S B, HAN W, PEI Z F. Desert Locust Swarms impact on the local vegetation along India-Pakistan border and their possible development trends[J]. Journal of remote sensing, 2020, 24(3): 326-332.

[14] 姚志凤, 雷雨, 何东健. 基于高光谱成像的小麦白粉病与条锈病识别(英文)[J]. 光谱学与光谱分析, 2019, 39(3): 969-976.
YAO Z F, LEI Y, HE D J. Identification of powdery mildew and stripe rust in wheat using hyperspectral imaging[J]. Spectroscopy and spectral analysis, 2019, 39(3): 969-976.

[15] HONKAVAARA E, SAARI H, KAIVOSOJA J, et al. Processing and assessment of spectrometric, stereoscopic imagery collected using a lightweight UAV spectral camera for precision agriculture[J]. Remote sensing, 2013, 5(10): 5006-5039.

[16] JEONG S, KO J, KIM M, et al. Construction of an unmanned aerial vehicle remote sensing system for crop monitoring[J]. Journal of applied remote sensing, 2016, 10 (2): ID 026027.

[17] 赵静, 李志铭, 鲁力群, 等. 基于无人机多光谱遥感图像的玉米田间杂草识别[J]. 中国农业科学, 2020, 53(8): 1545-1555.
ZHAO J, LI Z M, LU L Q, et al. Weed identification in maize field based on multi-spectral remote sensing of unmanned aerial vehicle[J]. Scientia agricultura sinica, 2020, 53(8): 1545-1555.

[18] ZHANG N, ZHANG X L, YANG G J, et al. Assessment of defoliation during the Dendrolimus tabulaeformis Tsai et Liu disaster outbreak using UAV-based hyperspectral images[J]. Remote sensing of environment, 2018, 217: 323-339.

[19] 陈诚, 徐瑞斌. 智慧农业创新赋能新质生产力[N]. 北京日报, 2024-3-22.

[20] 姜侯, 杨雅萍, 孙九林. 农业大数据研究与应用[J]. 农业大数据学报, 2019, 1(1): 5-15.
JIANG H, YANG Y P, SUN J L. Research and application of big data in agriculture[J]. Journal of agricultural big da-

ta, 2019, 1(1): 5-15.
[21] 杨锋, 吴华瑞, 朱华吉, 等. 基于Hadoop的海量农业数据资源管理平台[J]. 计算机工程, 2011, 37(12): 242-244.
YANG F, WU H R, ZHU H J, et al. Massive agricultural data resource management platform based on hadoop[J]. Computer engineering, 2011, 37(12): 242-244.
[22] 郭二秀. 基于Spark的农业大数据挖掘系统的设计与实现[D]. 杭州: 浙江大学, 2018.
GUO E X. The design and implement of agriculture big data mining system based on spark[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2018.
[23] 陈志浩, 王建华, 龙拥兵, 等. 基于Spark的WOA-BP水稻产量预测[J]. 华南农业大学学报, 2023, 44(4): 613-618.
CHEN Z H, WANG J H, LONG Y B, et al. WOA-BP rice yield prediction based on Spark[J]. Journal of South China agricultural university, 2023, 44(4): 613-618.
[24] ZHANG D X, LIU J, YANG L, et al. Application of swarm intelligence algorithms to the characteristic wavelength selection of soil moisture content[J]. International journal of agricultural and biological engineering, 2021, 14(6): 153-161.
[25] JIN X, TANG L M, JI J T, et al. Potential analysis of an automatic transplanting method for healthy potted seedlings using computer vision[J]. International journal of agricultural and biological engineering, 2021, 14(6): 162-168.
[26] ZHANG X, HE L, ZHANG J, et al. Determination of key canopy parameters for mass mechanical apple harvesting using supervised machine learning and principal component analysis (PCA) [J]. Biosystems engineering, 2020, 193: 247-263.
[27] 田桂林, 苏枫, 邹红, 等. 基于天牛群优化算法的灌区渠系配水研究[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(7): 96-103.
TIAN G L, SU F, ZOU H, et al. Calculating water distribution in irrigation channel networks using the beetle swarm optimization algorithm[J]. Journal of irrigation and drainage, 2022, 41(7): 96-103.
[28] 韩佳伟, 朱文颖, 张博, 等. 装备与信息协同促进现代智慧农业发展研究[J]. 中国工程科学, 2022, 24(1): 55-63.
HAN J W, ZHU W Y, ZHANG B, et al. Equipment and information collaboration to promote development of modern smart agriculture[J]. Strategic study of CAE, 2022, 24 (1): 55-63.
[29] 爱科农[EB/OL]. [2024-4-20]. https://www.icanag.com.
[30] 赵春江, 李瑾, 冯献, 等. 关于我国智能农机装备发展的几点思考[J]. 农业经济问题, 2023, 44(10): 4-12.
ZHAO C J, LI J, FENG X, et al. Reflections on the development of intelligent agricultural machinery and equipment[J]. Issues in agricultural economy, 2023, 44(10): 4-12.
[31] 孟志军, 王昊, 付卫强, 等. 农业装备自动驾驶技术研究现状与展望[J]. 农业机械学报, 2023, 54(10): 1-24.
MENG Z J, WANG H, FU W Q, et al. Research status and prospects of agricultural machinery autonomous driving[J]. Transactions of the Chinese society for agricultural machinery, 2023, 54(10): 1-24.
[32] 中央网信办信息化发展局,农业农村部市场与信息化司. 中国数字乡村发展报告(2022年)[R/OL]. (2023-03-01) [2024-04-20]. https://www. cac. gov. cn/2023-03/01/c_1679309718486615. htm? eqid=9e8ddfd5000b0201000000026475e166&wd= &eqid=deac42a60002762700000006659799ed.
[33] 赵春江, 郭文忠. 中国水肥一体化装备的分类及发展方向[J]. 农业工程技术, 2017, 37(7): 10-15.
ZHAO C J, GUO W Z. Classification and development direction of water and fertilizer integrated equipment in China[J]. Agricultural engineering technology, 2017, 37(7): 10-15.
[34] 中国农业大学工学院. 学史明理开新局|工学院智能农业装备研究团队获得第一届中国农业机器人创新大赛一等奖[EB/OL]. (2021-05-26) [2024-04-20]. https://coe.cau.edu.cn/art/2021/5/26/art_27675_749730.html.
[35] 斯维垦智能科技[EB/OL]. [2024-04-20]. https://www.sveaverken.cn.
[36] afimilk[EB/OL][2024-04-20]https://www.afimilk.com.cn/.
[37] 中国畜牧业协会智能畜牧分会. 中国智能畜牧发展现状与趋势白皮书(2019)[R/OL]. [2024-04-20]. https://www.caaa.cn/uploadfile/2023/0303/20230303020317330.pdf
[38] 闫国琦, 倪小辉, 莫嘉嗣. 深远海养殖装备技术研究现状与发展趋势[J]. 大连海洋大学学报, 2018, 33(1): 123-129.
YAN G Q, NI X H, MO J S. Research status and development tendency of deep sea aquaculture equipments: A review[J]. Journal of Dalian ocean university, 2018, 33(1): 123-129.
[39] 中国水产科学院研究院渔业机械仪器研究所. 工业化养殖装备[EB/OL]. [2024-04-20]. https://www. fmiri. ac. cn/yyzb/gyhyzzb.htm.
[40] 浙江大学[EB/OL]. [2024-04-20]. https://mypage.zju.edu.cn/yzyzju/649319.html.
[41] 钱加荣, 毛世平, 林青宁. 强化农业科技创新布局,走好农业强国之路[EB/OL]. 光明网, [2022-11-21]. https://kepu.gmw.cn/2022-11/21/content_36176634.htm.
[42] 国家统计局, 科学技术部, 财政部. 2022年全国科技经费投入统计公报[R/OL]. (2023-09-18) [2024-04-20]. https://www. stats. gov. cn/sj/zxfb/202309/t20230918_1942920.html.
[43] 杜焱强, 钟钰. 依靠数字技术,建设和美乡村[EB/OL]. 21世纪经济网, [2023-03-24]. https://www.21jingji.com/article/20230324/47dbfa1ef55e7c71dd947cf084bcac6b.html.
[44] 高旺盛. 农业科技创新体制机制存在问题分析与建议[EB/OL]. 国科农研院, [2023-03-30]. https://mp.weixin. qq. com/s? __biz=MzU2NzI1NjkzNw== &mid=2247612157&idx=4&sn=d54a7d5913d1490de57df729425136c0&chksm=fc9c84fbcbeb0ded3fdb01069d6ce7fc5c998f539486fb094739f3a72fc2a16027fadefd56eb&scene=27.
[45] 王建冬, 于施洋, 黄倩倩. 数据要素基础理论与制度体系总体设计探究[J]. 电子政务, 2022(2): 2-11.
WANG J D, YU S Y, HUANG Q Q. Research on the basic theory of data elements and the overall design of institutional system[J]. E-Government, 2022(2): 2-11.
[46] 燕艳华, 王亚华, 云振宇, 等. 新时期我国农业标准化发展研究[J]. 中国工程科学, 2023, 25(4): 202-213.
YAN Y H, WANG Y H, YUN Z Y, et al. Development of agricultural standardization in China in the new era[J]. Strategic study of CAE, 2023, 25(4): 202-213.

The Path of Smart Agricultural Technology Innovation Leading Development of Agricultural New Quality Productivity

CAO Bingxue[1], LI Hongfei[2], ZHAO Chunjiang[1*], LI Jin[1*]

（1. *Information Technology Research Center, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences*, *Beijing* 100097, *China*;
2. *Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences*, *Beijing* 100097, *China*）

Abstract:
[Significance] Building the agricultural new quality productivity is of great significance. It is the advanced quality productivity which realizes the transformation, upgrading, and deep integration of substantive, penetrating, operational, and media factors, and has outstanding characteristics such as intelligence, greenness, integration, and organization. As a new technology revolution in the field of agriculture, smart agricultural technology transforms agricultural production mode by integrating agricultural biotechnology, agricultural information technology, and smart agricultural machinery and equipment, with information and knowledge as important core elements. The inherent characteristics of "high-tech, high-efficiency, high-quality, and sustainable" in agricultural new quality productivity are fully reflected in the practice of smart agricultural technology innovation. And it has become an important core and engine for promoting the agricultural new quality productivity.
[Progress] Through literature review and theoretical analysis, this article conducts a systematic study on the practical foundation, internal logic, and problem challenges of smart agricultural technology innovation leading the development of agricultural new quality productivity. The conclusions show that: (1) At present, the global innovation capability of smart agriculture technology is constantly enhancing, and significant technology breakthroughs have been made in fields such as smart breeding, agricultural information perception, agricultural big data and artificial intelligence, smart agricultural machinery and equipment, providing practical foundation support for leading the development of agricultural new quality productivity. Among them, the smart breeding of 'Phenotype+Genotype+ Environmental type' has entered the fast lane, the technology system for sensing agricultural sky, air, and land information is gradually maturing, the research and exploration on agricultural big data and intelligent decision-making technology continue to advance, and the creation of smart agricultural machinery and equipment for different fields has achieved fruitful results; (2) Smart agricultural technology innovation provides basic resources for the development of agricultural new quality productivity through empowering agricultural factor innovation, provides sustainable driving force for the development of agricultural new quality productivity through empowering agricultural technology innovation, provides practical paradigms for the development of agricultural new quality productivity through empowering agricultural scenario innovation, provides intellectual support for the development of agricultural new quality productivity through empowering agricultural entity innovation, and provides important guidelines for the development of agricultural new quality productivity through empowering agricultural value innovation; (3) Compared to the development requirements of agricultural new quality productivity in China and the advanced level of international smart agriculture technology, China's smart agriculture technology innovation is generally in the initial stage of multi-point breakthroughs, system integration, and commercial application. It still faces major challenges such as an incomplete policy system for technology innovation, key technologies with bottlenecks, blockages and breakpoints, difficulties in the transformation and implementation of technology achievements, and incomplete support systems for technology innovation.
[Conclusions and Prospects] Regarding the issue of technology innovation in smart agriculture, this article proposes the 'Four Highs' path of smart agriculture technology innovation to fill the gaps in smart agriculture technology innovation and accelerate the formation of agricultural new quality productivity in China. The "Four Highs" path specifically includes the construction of high-energy smart agricultural technology innovation platforms, the breakthroughs in high-precision and cutting-edge smart agricultural technology products, the creation of high-level smart agricultural application scenarios, and the cultivation of high-level smart agricultural innovation talents. Finally, this article proposes four strategic suggestions such as deepening the understanding of smart agriculture technology innovation and agricultural new quality productivity, optimizing the supply of smart agriculture technology innovation policies, building a national smart agriculture innovation development pilot zone, and improving the smart agriculture technology innovation ecosystem.

Key words: smart agriculture; technology innovation; agricultural new quality productivity; data elements; smart breeding

Foundation items: National Natural Science Foundation of China (L2224049); Commission Project of Beijing Rural Revitalization Expert Advisory Committee in 2024 (202404-I); Innovation Capability of Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences: Rural Revitalization Research Center (KJCX20240404); Innovation Capability Construction Project of Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences (KJCX20240309); Youth Fund Project of Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences (QNJJ202322)

Biography: 1. CAO Bingxue, E-mail: caobx@nercita.org.cn; 2. LI Hongfei, E-mail: lihf@nercita.org.cn

*__Corresponding author:__ 1. ZHAO Chunjiang, E-mail: zhaocj@nercita.org.cn; 2. LI Jin, E-mail: lij@nercita.org.cn